

超高压水射流切割木材的粗糙度分析

王正, 何继龙, 蒋华松

(南京林业大学木材工业学院, 江苏南京 210037)

摘要: 在我国木材加工领域, 数控超高压水射流技术的应用尚处于起步阶段, 多用于珍贵木材的切割。通过对3种地板生产常用热带木材的试验, 分析木材气干密度、水切割压力、进料速度、石榴砂粒度和切削厚度等参数, 对加工表面粗糙度的影响, 为珍贵树种花式地板生产加工提供参考。

关键词: 木材切割; 超高压; 水射流; 粗糙度

中图分类号: TS6

文献标识码: B

文章编号: 1001-8654(2010)02-0038-03

Surface Roughness of Wood Cut by Extra-High Pressure Water-Jet

WANG Zheng, HE Ji-long, JIANG Hua-song

(College of Wood Science & Technology Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: High pressure water-jet cutting technique is increasingly visible in furniture and floor manufacturing process in China. In order to evaluate the surface quality and efficiency of extra-high pressure water-jet cutting, an orthogonal experiment was designed for three wood species to determine the effect of wood density, water pressure, feed-in speed, sand particle size, and cutting thickness on the surface quality. The test result would provide a useful reference to improve rare tropical wood flooring production.

Key words: wood cutting; extra-high pressure; water-jet; roughness

数控超高压水射流加工(液体喷射加工), 是运用液体增压原理, 通过高压泵, 将动力源(电机)的机械能转换成压力能, 压力能再转变成动能, 从而形成高速水射流, 最后经水、砂混合方式, 对材料进行切割、分离、穿孔、破碎和表层材料去除等加工^[1]。

高压水射流加工的主要特点是: 冷加工方式, 整片切割, 不产生废屑, 粗糙度较小; 能进行任意图案的切割, 亦能钻孔; 装夹方便, 切割效率高。特别是在切割易燃、易爆材料时, 无毒副气体、热效应、变形或微裂缝产生, 切缝窄、精度高、不产生弧光、灰尘, 切边品质优异。国外水射流切割技术, 已经向智能化发展。

高压水射流切割属柔性切割, 因其具有加工精度高、不需二次加工等特点, 在木材加工行业中, 多用于

红木家具、拼花地板等珍贵树种木材的加工, 用于曲线切割、硬木切割薄型工件的效果更佳, 应用前景广阔。已有研究表明, 高压水切割木材的质量与树种的基本密度、含水率、切割厚度、切割压力和切割速度密切相关。

本研究主要探讨工艺参数对加工木材的表面粗糙度指标的影响, 以期为花式木地板生产提供较佳的切割方案, 为企业生产工艺创新提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

① 圆盘豆(*Cylicodiscus* spp.), 气干密度0.80~0.87 g/cm³, 产自加纳;

② 绿柄桑(*Chlorophora* spp.), 气干密度0.62~0.72 g/cm³, 产自加纳;

③ 柚木(*Tectona grandis*), 气干密度0.60~0.64 g/cm³, 产自泰国。

收稿日期: 2009-06-09; 修改日期: 2009-10-28

基金项目: 南京林业大学科技创新项目(163020044)。

作者简介: 王正(1963—), 男, 南京林业大学木材工业学院高级工程师, 博士。

规格(长×宽×厚)均为 900 mm×125 mm×18 mm,品质 A 级,含水率 10.6%~12.4%。

1.2 试验设备

1.2.1 WC40WA1312H 型国产数控超高压水射流切割机床。主要构成:

1) 水射流发生器:由增压、供水、增压恒压、喷嘴管路、集水及水循环处理等系统组成,最高水压 300 MPa、油泵最高工作压力 15~16 MPa、最大射流流量 2.7 l/min;

2) 龙门式数控工作台:滚珠丝杆、线性导轨、工作台面等。丝杆和导轨精度 IP5±0.1 mm,重复定位精度±0.05 mm,二维工作台最大加工尺寸 1 200 mm×1 200 mm,控制精度±0.02 mm,可调切割速度 0~3 000 mm/s;

3) 喷射切割系统:由直径 0.26 mm 的水射流喷嘴、装有 60~100 目石榴石砂的控砂装置组成;

4) 操作系统:由标准工业控制机、独立控制柜、Windows 操作平台与专用 CAD/CAM 系统组成。

在完成加工图案 CAD 设计、设定切割压力和速度的基础上,先将自来水过滤;然后利用 150 kW 的压力泵经增压系统,将水增压至最高(本试验设为 265 MPa),送入在工作台上的水射流喷射装置;再由特制刀头将砂料加入控砂装置,并通过喷嘴喷射出相当于 3 倍音速的高速水、砂混合水箭,对试材进行切割。

1.2.2 TR110 型袖珍式粗糙度测试仪

工作原理:在驱动机构的驱动下,传感器沿被测表面作匀速直线运动,其内部垂直于工作表面的触针,随工作表面的轮廓产生垂直方向的位移,再通过传感器将位移变化量转换成电量的变化,经放大、滤波,送入 A/D 转换为数字信号,经 CPU 处理,计算并显示 Ra、Rz 值。

1.3 试验方法与检测

工艺路线:试材准备与夹紧→CAD 图案设计(图 1a)→切割编码和仿真→自来水过滤→发生器增压→切割(图 1b)→试材质量检测^[2-3]。

依据 GB/T12472-2003《木制件表面粗糙度参数及其数值》、GB/T14495-1993《木制件表面粗糙度比较样块评价》,检验试材的粗糙度。

正交试验 $L_{18}(3^7)$,因素及水平见表 1^[4]。

表 1 试验因素和水平

Tab. 1 Processing parameters selected for experimental design

试材	水平	A. 木材密度/ (g·cm ⁻³)	B. 水压/ MPa	C. 进给速度/ (mm·min ⁻¹)	D. 切削厚度/ mm	E. 砂粒 度/目	F 空列	G 空列
柚木	1	0.61	250	100	12	100		
绿柄桑	2	0.70	280	80	24	80		
圆盘豆	3	0.84	265	120	18	60		

注: F、G 列为误差列。

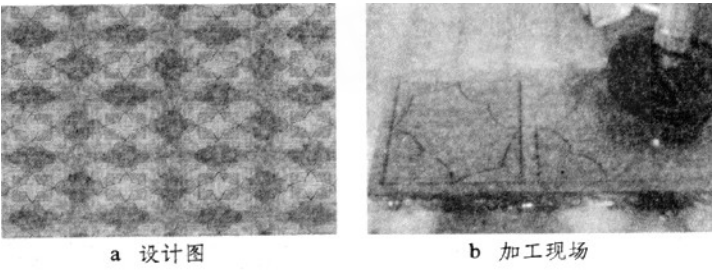


图 1 花式木地板设计图案和切割加工

Fig. 1 Photo showing high pressure water-jet cutting pattern and process

2 结果与分析

试验结果列于表 2,各因素对切割表面粗糙度影响的方差分析见表 3^[4]。

在水切割过程中,考虑到木材与水接触的时间较长,木材易吸收水分而膨胀变形,可在条件允许的前提下,采取高水压、高砂粒度目数、高速进给及小靶距等工艺措施;同时,加工后须及时干燥,控制工件的终含水率在 12%以下。

表 2、3 显示,本试验范围内,较佳的方案为 $A_1B_2C_2D_1E_1$,即当材料的气干密度 0.61 g/cm³,水切割压力 280 MPa,进给速度 80 mm/min,锯切材料厚度 12 mm,砂粒度 100 目时,试材表面粗糙度 Ra 的平均值最小,仅为 4.16,木地板的切割质量最优。

表 3 显示,在显著性水平 $\alpha=0.05$ 时,水切割压力 B 对试验结果影响非常显著,因为增大水切割压力,加大水射流动能,提高切削效果;其他因素 A、C、D、E 的 F 值均<3.257,因此,影响不显著。

3 结论与建议

1) 本试验范围内,当木材密度 0.6 g/cm³ 左右,水切割压力 280 MPa,进给速度 80 mm/min,材料厚度 12 mm,砂粒度 100 目时,加工表面的粗糙度值相对最小,加工质量最优;

表 2 不同加工参数下木材的粗糙度
Tab. 2 Roughness of wood surface cut under different processing parameters

试验号	A	B	C	D	E	F	G	表面粗糙度 Ra
1	1	1	1	1	1	1	1	4. 89
2	1	2	2	2	2	2	2	4. 32
3	1	3	3	3	3	3	3	4. 98
4	2	1	1	2	2	3	3	5. 18
5	2	2	2	3	3	1	1	4. 45
6	2	3	3	1	1	2	2	4. 76
7	3	1	2	1	3	2	3	5. 23
8	3	2	3	2	1	3	1	4. 38
9	3	3	1	3	2	1	2	4. 91
10	1	1	3	3	2	2	1	4. 87
11	1	2	1	1	3	3	2	4. 27
12	1	3	2	2	1	1	3	4. 56
13	2	1	2	3	1	3	2	4. 78
14	2	2	3	1	2	1	3	4. 48
15	2	3	1	2	3	2	1	4. 87
16	3	1	3	2	3	1	2	5. 08
17	3	2	1	3	1	2	3	4. 36
18	3	3	2	1	2	3	1	4. 65
K ₁	27. 890	30. 030	28. 480	28. 280	27. 730	28. 370	28. 110	
K ₂	28. 520	26. 260	27. 990	28. 390	28. 410	28. 410	28. 120	
K ₃	28. 610	28. 730	28. 550	28. 350	28. 88	28. 240	28. 790	
k ₁	4. 648	5. 005	4. 747	4. 713	4. 622	4. 728	4. 685	
k ₂	4. 753	4. 377	4. 665	4. 732	4. 735	4. 735	4. 687	
k ₃	4. 768	4. 788	4. 758	4. 725	4. 813	4. 707	4. 798	
极差 R	0. 720	3. 770	0. 560	0. 110	1. 150	0. 170	0. 680	
Q _i	401. 630	402. 800	401. 610	401. 580	401. 690	401. 580	401. 620	
SS _i	0. 051	1. 222	0. 031	0. 001	0. 111	0. 003	0. 051	
影响因素排序	B, E, A, C, D							

注:表中 K₁、K₂、K₃、k₁、k₂、k₃、R、Q_i、SS_i 含义及计算参见文献^[4]。

表 3 各因素对切割质量影响的方差分析
Tab. 3 Variance of analysis of surface roughness under different processing parameters

方差来源	A	B	C	D	E	误差	总和
离差平方和 SS _i	0. 051	1. 22	0. 031	0. 001	0. 111	0. 135	1. 553
误差自由度 df _e	2	2	2	2	2	7	17
均方 MS _e	0. 026	0. 61	0. 016	0. 001	0. 056	0. 019	0. 09
F 值	1. 32	31. 6	0. 80	0. 027	2. 88		
临界值	F _{0. 01} (2, 7)=9. 547		F _{0. 05} (2, 7)=4. 737		F _{0. 1} (2, 7)=3. 257		
优方案	A ₁	B ₂	C ₂	D ₁	E ₁		

切割水压力对试验结果的影响最大。

2) 在加工过程中,木材因吸收水分而变形,为后期加工和铺设增加了一定难度。可通过提高水压、加大砂粒目数、加工后及时干燥等措施改善。

3) 今后有待加强对水射流切割机理的研究。另外,数控切割平台 CNC 程序设计、三维仿型切割和六轴机器人设计;超高压密封器件、进出水阀组与控制阀、喷嘴使用寿命,超高压软管的研制能力薄弱,制约了这种万能加工方式的技术发展和推广,尚需改进。

参考文献:

[1] 王正,孙友富. 数控超高压水射流切割机床的发生器系统技术[J]. 木材加工机械,2006(4): 32-34.

[2] Chen F L, E Siores, K Patel. Improving the cut surface qualities using different controlled nozzle oscillation techniques [J]. International Journal of Machine Tools&Manufacture, 2002(42): 717-722.

[3] 董庆华. 超高压水射流切割技术及其应用[J]. 焊接技术, 2002(6): 34-35.

[4] 李云雁,胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

(责任编辑 姜征、张一萍)

行业简讯

《木镜》行标起草小组成立暨《木梳》行标筹备会

为规范我国木镜和木梳等木制品生产,2010年1月17日,全国木材标准化技术委员会,在重庆谭木匠工艺品有限公司举行了《木镜》行业标准起草小组成立暨《木梳》行业标准筹备工作会议。《木镜》行

标起草小组讨论了《木镜》标准初稿,并对由谭木匠集团和中国林科院木材工业研究所共同准备申报的《木梳》行标草案以及相关工作进行了讨论。

侯建筠 虞华强